



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

DANIEL SÖDERDAHL

TEOLLISUUDESSA KÄYTETTÄVIEN YHTEISTYÖROBOTTIEN KEHITYS

Kandidaatintyö

Tarkastaja: Matti Aarnio,
Jose Martinez Lastra
Palautettu: 20.11.2017

TIIVISTELMÄ

DANIEL SÖDERDAHL: Teollisuudessa käytettävien yhteistyörobottien kehitys,
Development of industrial collaborative robots
Tampereen teknillinen yliopisto
Kandidaatintyö, 22 sivua
Marraskuu 2017
Automaatiotekniikan koulutusohjelma
Pääaine: Automaatiotekniikka
Tarkastaja: Matti Aarnio, Jose Martinez Lastra

Avainsanat: cobotit, yhteistyörobotit

Yhteistyörobotit eli cobotit ovat robotteja, jotka toimivat ihmisen kanssa yhteistyössä samassa työtilassa. Tässä työssä on tutkittu yhteistyörobottien historiaa ja niiden kehitystä sekä nykytilannetta. Työssä on myös vertailtu markkinoilla olevia yhteistyörobotteja keskenään. Tavoitteena oli tutustua yhteistyörobotteihin sekä ihmisten ja robottien väliseen yhteistyöhön sekä alan ongelmiin ja haasteisiin.

Työ on tehty kirjallisuusselvityksenä ja lähteinä on käytetty tieteellisiä artikkeleita, uutisia ja yhteistyörobottien valmistajien sivuja. Työ on jaettu kahteen kokonaisuuteen teoriaan ja vertailuun. Teoriaosiossa on käyty läpi yhteistyörobottien historiaa ja nykytilannetta ja vertailuosiossa on vertailtu niitä.

Ihmisten ja robottien välisen yhteistyön ansiosta tuotantoon saadaan joustavuutta, tehokkuutta ja työn laatua saadaan paremmaksi. Yhteistyörobottien historia voidaan katsoa alkaneen 1990-luvulla, mutta nämä ensimmäiset yhteistyörobotit olivat hyvin erilaisia kuin nykyajan robotit. Yhteistyörobottien avulla saadaan automatisoitua sellaisia asioita, joita ennen ei ollut mahdollista tai järkeä automatisoida. Niiden ohjelmoiminen on nopeaa ja se tapahtuu usein opettamistekniikalla. Jotta yhteistyörobotit on saatu turvallisiksi ja toimimaan ihmisen kanssa samassa työtilassa, niissä on sensorit tai kamerat, joiden avulla ne tunnistavat törmäykset.

SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO	1
2.	TEORIA	3
2.1	Cobottien historia	4
2.2	Cobottien nykytilanne	9
2.2.1	Universal Robots	9
2.2.2	ABB YuMi	11
2.2.3	Muita cobotteja	12
3.	VERTAILU	16
4.	YHTEENVETO	19
	LÄHTEET	21

1. JOHDANTO

Älypuhelin tultua markkinoille 2006 ja niiden menestyksen myötä, myös robotiikassa alettiin lähestyä robotteja uudella tavalla. Ajatus oli, että ihminen ja robotit pystyisivät työskentelemään yhdessä ja samassa työtilassa. Keskityttiin korvaamaan monimutkaiset prosessit joustavien ja ketterien järjestelmien avulla. Tämä aika tunnetaan nimellä neljäs teollisuuden vallankumous tai Industry 4.0. Silloin alettiin kehittää pienten kokoonpanolinjojen ratkaisuja, sillä tiedettiin, että ne pitäisi saada automatisoitua. Todettiin, että siinä tulee menemään aikaa vuosia ja että ratkaisun on liityttävä jollakin tapaa roboteihin. Näin päästin ihmisten ja robottien väliseen yhteistyöhön sekä yhteistyöroboteihin eli coboteihin. [1]

Yhteistyörobottien avulla esimerkiksi tylsät ja raskaat hommat voidaan antaa robotille niin että ihminen kuitenkin kontrolloi työtä ja on siinä mukana. Ne eivät siis poista ihmisen roolia kokonaan, vaan ne työskentelevät yhdessä ihmisen kanssa. [2] Tässä isoimpana ongelmana on turvallisuus, sillä ihmisen ja robotin tulisi pystyä työskentelemään samassa tilassa.

Yhteistyörobottien ala on tällä hetkellä nopeimmin kasvavia robotiikan aloja ja sen on ennustettu saavuttavan 3 miljardin dollarin liikevaihdon vuoteen 2020 mennessä [3]. Jos se jatkaa kasvamistaan ja vakinaistaa paikkansa, niin tulevaisuudessa tehtaissa ei välttämättä ole mitään erottelua automatisoitujen ja manuaalisten työasemien välillä [2]. Eli ei ole mitään turvahäkkejä tai valoverhoja. Yhteistyörobotit ovat halpoja suhteessa perinteisiin roboteihin, ne ovat helppoja ja nopeita asentaa sekä ohjelmoida käyttökuntoon, ne ovat helposti siirrettäviä ja niillä on nopea takaisinmaksuaika [4]. Kaikki nämä kertovat yhteistyörobottien vahvasta tulevaisuudesta ja ne todennäköisesti ovat johtava robottitekniologia tulevaisuudessa. On myös ennustettu, että vuonna 2025 noin 25 % kaikista automatisoitavista työtehtävistä on toteutettu robotiikan avulla, joka tarkoittaa 16 % laskua työvoimakustannuksissa. [1, 4]

Työ on tehty osana tekniikan kandidaatin tutkintoa. Tämän kandidaatintyön tavoitteena on tutustua tarkemmin uuteen teknologiaan, yhteistyöroboteihin sekä ihmisten ja robottien väliseen kommunikointiin sekä alan ongelmiin ja haasteisiin. Työ on tehty kirjallisuusselvityksenä. Lähteinä on käytetty tieteellisiä kirjoituksia ja uutisia aiheesta, sekä cobottivalmistajien omia sivuja. Tässä työssä käytetään yhteistyöroboteista termiä cobotit, joka tulee englannin kielen sanoista collaborative robots.

Työn aiheena on cobotit, sekä ihmisten ja robottien välinen yhteistyö. Coboteissa keskitytään teollisuudessa ja tehdasautomaatiossa käytettäviin coboteihin. Työssä on käsitelty

cobottien kehitystä ja nykytilannetta. Työ on jaettu kahteen isompaan kokonaisuuteen teoriaan ja vertailuun. Teoriaosiossa kerrotaan aluksi coboteista sekä ihmisten ja cobottien välisestä yhteistyöstä yleensä. Sen jälkeen on kerrottu cobottien historiasta ja kehityksestä. Viimeisenä teoriaosiossa on cobottien nykytilanne, jossa on käyty läpi suurimpien valmistajien cobotteja. Vertailuosiossa on vertailtu edellisessä luvussa esitettyjen cobottivalmistajien cobotteja. Vertailussa on keskitytty erilaisiin turvallisuusratkaisuihin sekä muihin eri ominaisuuksiin sekä teknisiin tietoihin ja vahvuuksiin.

2. TEORIA

Ihmisen ja robotin välisessä yhteistyössä ihminen ja kone työskentelevät yhdessä. Yleensä työnjako on, että ihminen ohjaa sekä valvoo ja kone tekee työn. Siinä siis robotti avustaa ihmistä, mutta ei korvaa kokonaan. Robotti parantaa tehokkuutta ja vapauttaa ihmisen hankalista ja rasittavista töistä. Näitä voivat olla esimerkiksi raskaat nostotyöt. Ihmisen ja robottien välinen yhteistyö tuo merkittäviä etuja, kuten maksimijoustavuuden tuotannossa, toistettavien prosessien paremman laadun eli vähemmän hukkaan mennyttä tuotantoa ja paremman tuottavuuden. [2] Yhteistyö mahdollistaa sellaisten prosessien automatisoinnin, jossa vielä tarvitaan ihmisenkin työpanosta. Yhteistyö mahdollistaa myös ihmisen keskittymisen töihin, jotka vaativat enemmän ajattelua kuin fyysistä työtä. Ihmisen ja robotin välisessä yhteistyössä käytettävät robotit ovat yhteistyörobotteja. Perinteisiä robotteja tarvitaan kuitenkin vielä pitkään, sillä niillä on vielä paljon suuremmat hyötykuormat sekä nopeammat kiertoajat ja ne kestävät paremmin rankempia olosuhteita. [1]

Yhteistyörobotit ovat saaneet englanninkielisen vakiintuneen termin cobots eli cobotit. Cobotit ovat robotteja, jotka on tarkoitettu toimimaan ihmisen kanssa jaetussa työtilassa ja olemaan fyysisessä vuorovaikutuksessa ihmisen kanssa. Tämä on erilainen ajattelutapa perinteisiin robotteihin verrattuna, jotka on suunniteltu toimimaan automaattisesti tai rajoitetulla ohjauksella, jollaisia suurin osa teollisuudessa käytettävistä roboteista oli aina 2010-luvulle asti. Useimmilla coboteilla on yksi käsi ja pienet hyötykuormat, yleensä alle 15 kg, mutta niillä on muita merkittäviä etuja verrattuna perinteisiin robotteihin. [5]

Cobotit vaativat vähemmän resursseja systeemin suunnittelun, asennuksen ja käyttöön-oton suhteen kuin perinteiset teollisuusrobotit. Perinteisiä teollisuusrobotteja käytetään yleensä nopeuden ja tehokkuuden takia, ja ne on ohjelmoitu tekemään yhtä tehtävää korkealla volyymilla. Niiden uuteen työtehtävään ohjelmoimiseen menee paljon aikaa, kun taas cobottien kädestä pitäen ohjelmoiminen on helppoa ja nopeaa. Näin cobottien avulla voidaan automatisoida pienenkin volyymin tuotantoa, sillä ne ovat joustavia työtehtävän suhteen. Helppo ohjelmoiminen myös laskee kustannuksia, koska ei tarvita ulkopuolista apua. Cobottien kustannuksia myös laskee se, että ne eivät tarvitse turvahäkkejä tai valoverhoja. Näin saadaan myös tilaa enemmän. Cobottien takaisinmaksuaika on tyypillisesti vuosi tai vähemmän. Cobottien avulla pyritään automatisoimaan niitä työtehtäviä, joita ennen ei ole ollut edes järkeä tai mahdollista automatisoida. Ne on suunniteltu ja rakennettu niin, että ne suorittavat asiat kuten ihminen ja niiden kädet liikkuvat kuten ihmisen kädet. [5, 6]

Cobotit ovat hyödyllisiä sellaisissa tehtävissä, joissa saadaan ihmistä säästettyä fyysisesti tai henkisesti raskailta töiltä, esimerkiksi sarjatuotantotyöltä, mutta kuitenkin tarvitaan

ihmisen näkö-, tunto- ja reagoimiskykyä. Niitä käytetään usein pienien osien tekoon, kuten kännykän koteloihin, mutta niitä on myös suurempikokoisiakin, ja ne pystyvät käsittelemään painavampia ja isompia osia. Cobotit pystyvät sarjatuotannossa paljon tarkempaan ja nopeampaan työskentelyyn kuin ihminen, jolloin saadaan enemmän tuotantoa ja vähemmän hukkaan mennyttä tavaraa. Cobotit eivät myöskään tarvitse taukoja, mikä lisää tuottavuutta. Suurin ongelma coboteissa on se, että niiden pitää pystyä toimimaan turvallisesti, koska ne työskentelevät samassa tilassa kuin ihminen. Cobotit pystyvät havaitsemaan jollakin tapaa epänormaalin toiminnan ympäristössään, esimerkiksi voiman rajoituksilla, kameralla tai muulla sensorilla. Kun ne havaitsevat epänormaalia toimintaa, ne joko hidastavat nopeuttaan tai pysähtyvät kokonaan. Tämä ei kuitenkaan takaa täyttä turvallisuutta, koska se riippuu siitä, missä niitä käytetään. Esimerkiksi kun ihminen menee cobotin alueelle tai törmää siihen se voi silti vahingoittaa, jos cobotti käsittelee jotain terävää ja vain hidastaa vauhtiaan. [4, 7]

Alan nousun syitä Rethink Roboticsin Jim Lawtonin sanoin on, että 90 %:a työtehtävistä ei ole automatisoitu, koska se ei ole ollut käytännöllistä. Useimmat pienet ja keskisuuret valmistajat ovat ilman robotteja ohjelmoinnin taidon puutteen takia. Pienillä valmistajilla on myös usein vaihteleva tuotanto, jolloin robotinkin pitää olla tosi joustava työtehtävien suhteen. [6] Nykyään markkinoilla toivotaan juuri joustavia robottiratkaisuja, jotka hallitsevat pienen volyymin tuotannon ja kustomoidut tuotteet [5]. Cobotit ovat ratkaisemassa näitä ongelmia.

ISO on määrittänyt coboteille turvallisuusstandardit. ISO 10218:n mukaan yleisiä turvallisuusominaisuuksia ovat turvallisesti tarkkailtu pysähdys, käsin ohjaaminen, nopeuden seuranta ja voiman rajoittaminen. Turvallisesti monitoroitua pysähdystä käytetään, kun cobotti työskentelee yksin ja ihminen käy vain harvoin sen työtilassa. Kun ihminen menee tilaan tekemään jotain, cobotti hidastaa liikettään siksi aikaa ja jatkaa normaalilla nopeudella heti, kun ihminen lähtee. Käsin ohjaaminen liittyy cobottien ohjelmoimiseen opettamalla esimerkin kautta. Nopeuden seurantaa käytetään, kun ihmisen tarvitsee mennä usein samaan tilaan cobotin kanssa. Siinä cobotti hidastaa koko ajan enemmän ja lopulta pysähtyy kokonaan, kun ihminen on tarpeeksi lähellä. Se jatkaa liikettään samalla tavalla nopeutuen koko ajan, kun ihminen poistuu. Voiman rajoittaminen tarkoittaa sitä, että joissain coboteissa on nivelissä sensoreita, joilla ne tunnistavat voimia ja paineita. Kun niille asetetut rajat ylittyvät, cobotti pysähtyy tai vaihtaa suuntaa. [8]

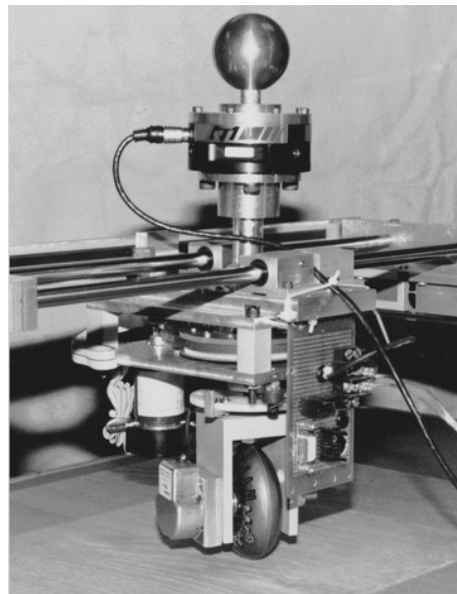
2.1 Cobottien historia

Vuonna 1995 Northwesternin yliopisto ja General Motors Corporation aloittivat projektin älykkäiden apuvälineiden kasvavalla alalla (Intelligent Assist Devices). IAD-laitteiden tarkoituksena on parantaa ergonomisia työskentelyolosuhteita, tuotteiden laatua ja tuottavuutta sopivan robottiteknologian ja perinteisten manuaalisten apuvälineiden yhdistelmällä. Heidän lähestymistapansa aiheeseen oli etsiä tapa toteuttaa virtuaalisia pintoja,

jotka ovat ihmisen ja tietokoneen välisen rajapinnan ensisijainen muoto. Virtuaalipinnat antavat fyysistä ohjausta, jotta cobotti saadaan menemään suoraan. [7, 9]

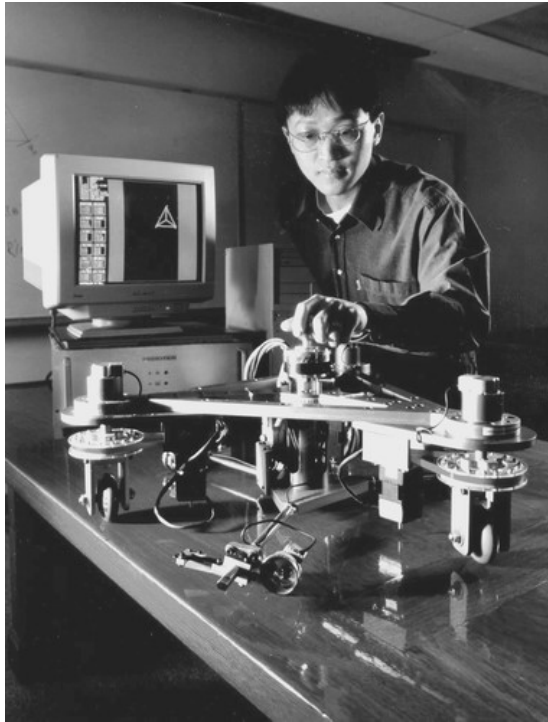
Tiimi harkitsi monia olemassa olevia teknologioita, esimerkiksi tuntoaistiin perustuvia laitteita, jotka mahdollistivat operaattorin vuorovaikutuksen tietokoneen kanssa käsin ja käsivarren liikkeiden avulla. Kehitystiimi kuitenkin hylkäsi tämän lähestymistavan turvallisuussyistä. Voimat, joita näissä laitteissa käytettiin, olivat suhteellisen pieniä, mutta moottorien olisi tarvinnut olla tehokkaampia, jotta ne olisivat pystyneet nostamaan ja ohjaamaan kappaleita. Jos näiden moottorien kontrolli menetettäisiin tai moottori toimisi viallisesti, se saattoi vahingoittaa käyttäjää. Saadakseen robotin turvallisesti he päätyivät ratkaisuun, jossa robotti voisi kannatella kuormaa, mutta ei liikuttaa sitä, eli kaikki liikuttamiseen tarvittava voima tulisi ihmiseltä. Lopulta he ymmärsivät myös, että robotti voi itsekin liikuttaa itseään turvallisesti. Näin he keksivät ensimmäiset cobotit, jonka avulla he saivat yleisen ja ohjelmoitavan keinon tehdä laajoja virtuaalipintoja. [7–9]

Ensimmäisillä coboteilla oli kaksi tilaa: vapaa ja rajoitettu. Vapaassa tilassa operaattori pystyi työntämään cobotin minne vaan ja antamaan sille kaiken sen tarvitseman voiman. Rajoitetussa tilassa operaattori antoi edelleen tarvitun voiman, mutta tietokone aisti cobotin tulevan kohti etukäteen ohjelmoitua virtuaalirajapintaa, jolloin moottori käänsi pyörää ja esti cobotin ylittämästä rajaa. Kun cobotti oli kosketuksissa virtuaaliseinän kanssa, se ohjasi itseään seinän rajoja pitkin. Jos jokin meni vikaan moottorin tai ohjainten kanssa, yksipyöräinen saattoi alkaa ohjata väärin, mutta mitään ei tapahtunut, ellei käyttäjä työntänyt sitä. Se ei myöskään vahingoittanut ihmistä, koska kaikki voima tuli ihmiseltä. [7, 9] Yksipyöräinen on esitetty kuvassa 1.



Kuva 1. Ensimmäisiä cobotteja: yksipyöräinen [9, s. 337].

Kehitystiimi totesi konseptin tehokkuuden, ja he valmistivat useita prototyyppejä. Nämä prototyypit johtivat lopulta kolmipyöräiseen cobottiin. Kolmipyöräisessä kaikkia kolmea rengasta ohjattiin itsenäisesti [7, 9]. Kolmipyöräinen on esitetty kuvassa 2.



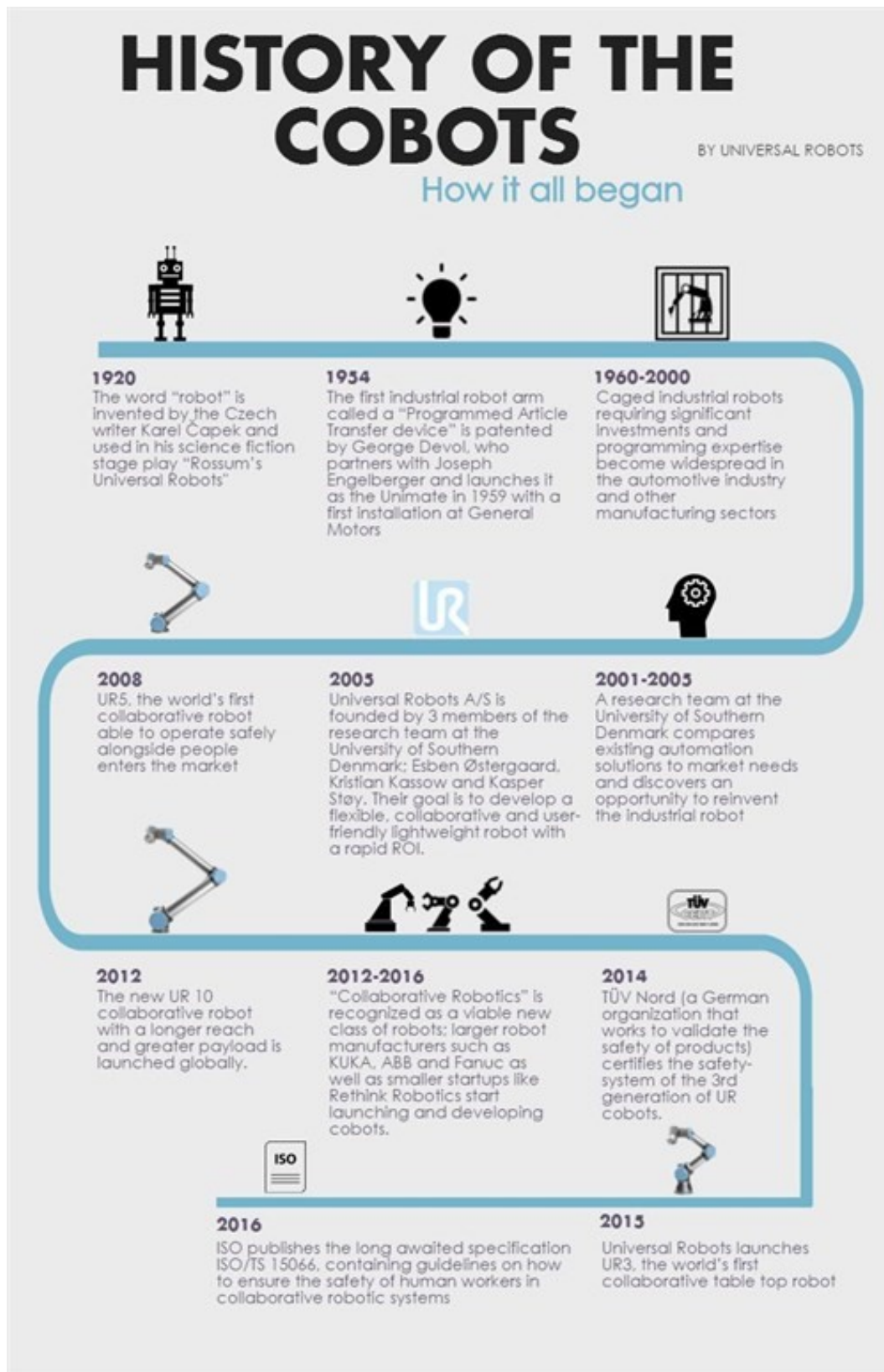
Kuva 2. Ensimmäisiä cobotteja: kolmipyöräinen [9, s. 338].

Ensimmäinen cobotti, johon kolmipyöräisen tekniikkaa käytettiin, oli auton ovien käsittely auton kokoonpanolinjalla. Se suunniteltiin auttamaan ihmistä linjalla, jossa ovi otettiin pois, maalattiin ja loppupäässä linjaa asennettiin takaisin. Cobotin avulla ihmisen ei tarvinnut enää kuin työntää tai vetää ovea ja ohjata sitä. Cobotti kannatteli sen painoa, jolloin ihmisen oli helpompi liikutella sitä. Tämä oven käsittelycobotti on esitetty kuvassa 3. Ed Colgate ja Michael Peshkin, Northwesternin professorit keksivät ja patentoivat cobotit vuonna 1999, ja Wall Street Journal vahvisti sen sanaksi 1.1.2000. [7, 9]



Kuva 3. Ensimmäisiä cobotteja: oven purkukone [8].

Universal Robots katsoo cobottien aikakauden alkaneen vuonna 2008, jolloin tanskalainen teknisten muovien ja kumien toimittaja Linatex osti ensimmäisenä uuden UR5-robotin, johon ei tarvittu aitoja suojelemaan työntekijöitä. Linatexin ei tarvinnut palkata ulkoisia ohjelmoijia vaan he pystyivät itse ohjelmoimaan cobotin kosketusnäyttöohjaimella, johon ei tarvinnut kokemusta. UR-cobotit saivat aluksi aikaan paljon epäluuloja. Travis Hessman sanoi artikkelissaan ”Robots, Cobots & the American Dream”, että cobotit olivat outoja, kun ne tulivat. Ne toimivat ilman turvahäkkejä ja valoverhoja, toisin kuin perinteiset robotit, ja itse asiassa ne heiluttelivat käsiään etukäteen ohjelmoituja reittejä ihmisten päiden vieressä. Kukaan ei tiennyt, mitä niistä ajatella eikä kukaan uskonut, että ne kestäisivät. [10] Universal Robotsin avattua markkinat alkoi syntyä uusia cobottivalmistajia. Myös muut robottivalmistajat alkoivat kehittää omia cobottejaan. [3, 11] Universal Robotsin käsitys cobottien historiasta on esitetty seuraavalla sivulla olevassa kuvassa 4.



Kuva 4. Cobottien historia [3].

Kuvasta 4 nähdään, että tsekkiläinen kirjailija Karel Čapek käytti ensimmäisenä robotti sanaa tietoisfiktiossaan vuonna 1920. Ensimmäinen teollisuudessa käytettävä robottikäsi patentoitiin 1954. Turvahäikeissä olevien robottien aikakautta elettiin vuosina 1960–2000.

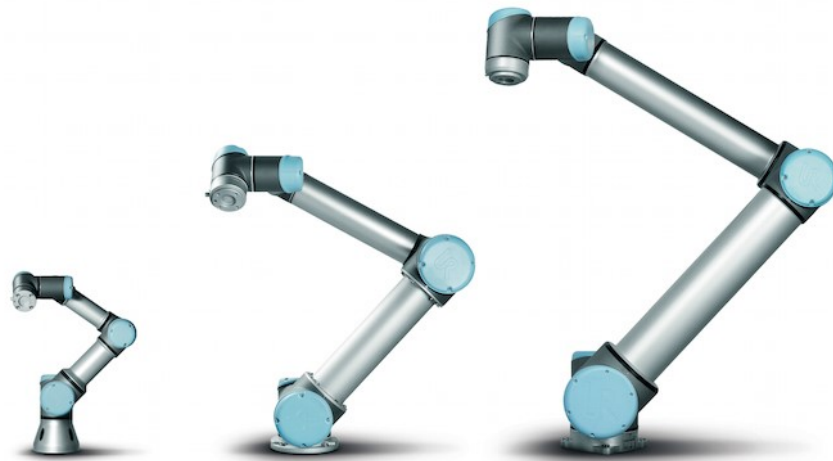
Ne tarvitsivat investointeja sekä ohjelmointitaitoa. Nämä robotit levisivät laajalle alueelle. Tutkimustiimi Etelä-Tanskan yliopistossa vertasi olemassa olevia automaatio- ratkaisuja markkinoiden tarpeisiin vuosina 2001–2005 ja keksi mahdollisuuden lähestyä ja miettiä uudelleen teollisuusrobotteja. Universal Robots perustettiin vuonna 2005. Maailman ensimmäinen nykyajan cobotti UR5, joka pystyi operoimaan turvallisesti ihmisten kanssa, tuli markkinoille 2008. UR10, jolla oli pidempi ulottuvuus ja parempi hyötykuorma, valmistui 2012. Vuosina 2012–2016 suuremmat robottivalmistajat ja uudet yritykset alkoivat kehittää omia cobottejaan. TÜV vahvistaa UR-cobottien kolmannen generaation turvallisuuden. UR3 tuli markkinoille 2015. ISO julkaisi 2016 kauan odotetun määrittelyn, jossa on suuntaviivat, kuinka varmistaa ihmisten turvallisuus cobottisysteemien kanssa. [3]

2.2 Cobottien nykytilanne

Verrattuna 90-luvun ensimmäisiin coboteihin, nykyajan cobotit ovat hyvin erilaisia. Ne muodostuvat yhdestä tai kahdesta robottikädestä. Nykyään eri cobottivalmistajia on paljon. 2010-luvulla syntyi paljon pieniä yrityksiä, jotka keskittyvät pelkkiin cobotteihin. Myös suuret robottivalmistajat, kuten ABB, KUKA ja FANUC, alkoivat tehdä cobotteja.

2.2.1 Universal Robots

Universal Robots on perustettu vuonna 2005. Yritys on maailman johtavia cobottivalmistajia. Heillä on kolme erikokoista cobottia UR3, UR5 ja UR10, jotka näkyvät kuvassa 5. Universal Robotsin cobotit ovat turvallisia helppo ohjelmoida, nopea asentaa ja niiden takaisinmaksuaika on yksi teollisuuden nopeimmista, joka on keskimäärin vain 195 päivää. Universal Robotsin cobotit saadaan nopeasti laitettua käyttökuntoon. Sen pakkauksesta purkamiseen, pystytykseen ja yksinkertaisen ohjelman tekoon menee tyypillisesti vähemmän kuin tunti. Täydelliseen käyttökuntoon ottoon menee keskimäärin puolikas päivä. UR-cobotit ovat helposti siirrettävissä, ja niiden uudelleen käyttöönotto on nopeaa. UR-cobottien ohjelmoiminen on helppoa eikä vaadi ohjelmointikokemusta. Siinä tarvitsee vain liikuttaa robotin kättä haluttuihin pisteisiin tai ohjelmoida pisteet nuolinäppäimillä Universal Robotsin omasta kosketusnäyttötabletista. [12]



Kuva 5. UR-cobotit [13].

Universal Robotsin ensimmäinen cobotti UR5 valmistui vuonna 2008. UR5 on 6-nivelinen, kevyt ja joustava. Sen hyötykuorma on 5 kg, ja itse cobotti painaa 18,4 kg. Se on ihanteellinen pienikokoisten yhteistyöprosessien optimointiin, kuten esimerkiksi poimintaan, sijoittamiseen ja testaukseen. Ulottuvuus sillä on 850 mm. Tarkkuus eli työn toistettavuus sillä on 0,01 mm ja nopeus $180^\circ/\text{s}$, mikä tarkoittaa noin 1 m/sekunti. UR5 on vieläkin markkinajohtaja cobottien alalla. [12]

Universal Robotsin isoin cobotti UR10 valmistui vuonna 2012. Se on suunniteltu isompiin töihin, joissa kuitenkin tarkkuus ja luotettavuus ovat tärkeitä. Sillä voidaan automatisoida prosesseja ja työtehtäviä, joiden maksimipaino on 10 kg. Tällaisia ovat esimerkiksi pakkaaminen, lastaukset ja kokoonpano. UR10:n ulottuvuus on 1 300 mm, ja se on tehokkaampi töissä, jotka ulottuvat laajalle alueelle. UR10:llä on sama toistettavuus kuin UR5:llä eli 0,01 mm, ja myös se on 6-nivelinen. Sen paino on 28,9 kg ja nopeudet $120^\circ/\text{s}$ tai $180^\circ/\text{s}$ nivelen mukaan. [12]

Joustavin ja pienin cobotti UR3 valmistui 2015. Se on helposti pöydälle mahtuva, kevyisiin kokoonpanoihin tarkoitettu cobotti. UR3 sopii myös kiillottamisiin, hiomisiin, liimaamisiin ja ruuvaamisiin. Se painaa vain 11 kg, ja sen hyötykuorma on 3 kg. Sekin on 6-nivelinen ja sen toistotarkkuus on 0,01 mm. Sen kaikki nivelet kääntyvät 360° , ja päätynivel kääntyy äärettömästi. Nivelien maksiminopeudet ovat $180^\circ/\text{sekunti}$ tai $360^\circ/\text{sekunti}$. UR3:n oletusvoima-anturi tunnistaa 150 N voiman, mutta se voidaan myös asettaa pysähtymään, jos siihen kohdistuu vähintään 50 N:n voima. [12]

2.2.2 ABB YuMi

ABB:n IRB 14000 eli YuMi, joka tulee sanoista You and Me, on kaksikäsinen cobotti, joka pystyy aitoon yhteistyöhön ihmisen kanssa. Se on tarkoitettu pienten osien kokoonpanoon. Sen kädet pystyvät muuttamaan joustavasti asentoa, sillä on osien syöttöjärjestelmä, kameraan perustuva osien paikannustoiminto ja huipputekninen ohjausjärjestelmä. YuMilla on näppärät tartuntasormet, muuntautuva ohjelmisto ja sillä on sisäänrakennettuja turvallisuusominaisuuksia. Lisäksi sen käsissä on pehmusteet, jonka takia YuMin ohjelmoiminen on enemmänkin kädestä pitäen opettamista kuin koodaamista ja sen kanssa työskentely on turvallista. [1] ABB:n YuMi sai vuonna 2016 Golden Fingerin yhtenä maailman parhaana teollisuusrobottina Kiinan kansainvälisessä robotti show'ssa (CIROS) [13]. YuMi on esitetty kuvassa 6.



Kuva 6. ABB:n IRB 14000: YuMi [1].

YuMi on tehty muistuttamaan ihmisiä ja turvalliseksi törmäyksen sattuessa. Se ei tarvitse enempää tilaa kuin ihminenkin samassa työssä. YuMilla on kevyt, mutta jäykkä luuranko, joka on peitetty muovilla, joka on vielä päällystetty pehmusteilla. Tämä kuvastaa ihmisen luurankoa ja sitä ympäröiviä lihaksia. YuMin käsissä on 7 niveltä ja se jäljittelee ihmisen käden liikkeitä. Jos YuMi aistii törmäyksen ihmisen kanssa tai muun ei toivotun iskun, se pystyy pysähtymään millisekunneissa ja liike saadaan jatkumaan painamalla play-nappulaa ohjaimesta. YuMi pystyy myös nopeasti diagnosoimaan ympäristöään ja

ylikuormituksen sattuessa lopettamaan liikkeensä, jottei vahinkoja satu. Kaikki nämä mahdollistavat YuMin toimimaan turvallisesti ihmisen kanssa samassa työtilassa. [1]

YuMin toistotarkkuus on 0,02 mm ja maksiminopeus on 1500 mm/s. Sen hyötykuorma on 500 g yhdelle kädelle ja ulottuvuus 559 mm. YuMi painaa 38 kg ja sen jalusta on 399 mm * 497 mm, minkä ansiosta sitä on helppo siirtää työpisteeltä työpisteelle. Sen kädet on integroitu, ne on joustavat ja niitä voidaan käyttää erilaisissa asetelemissä sekä kokoonpanoissa, kuten servotarttujissa, tupla imukupeissa ja näkemisessä. Näiden ansiosta YuMi pystyy käsittelemään paljon erilaisia kokoonpanoja ja työtehtäviä. YuMille on myös kehitetty osien toimittamiseen FlexFeeder-järjestelmä. Se varastoi säiliöön suuren määrän osia, joiden koot ovat 3 mm - 30 mm. FlexFeeder tuo osat tasaiselle pinnalle, josta YuMin käsikamerat pystyvät helposti paikantamaan poimittavat osat. YuMin ohjelmoiminen on kädestä pitäen opettamista. Siinä ohjataan YuMin käsiä haluttuihin pisteisiin ja yhteensopivalla tabletilla tallennetaan pisteet ja tarttujen toiminnot tekemään halutut asiat. Tabletilla näkee myös reaaliajassa, kun ohjelma muuntaa käden liikkeet koodiksi. Ja jos ohjelmoimiseen vaaditaan oikeasti ohjelmoimista, ettei sitä saada ohjelmoitua opettamalla, niin se voidaan myös ohjelmoida vanhanaikaisesti ABB:n RAPID ohjelmointikielellä. [1]

YuMin etuja on, että se on kaksikäsinen ja sen kädet on pehmustettu. Sillä on sisäänrakennettu säädin ja kevyt runko. Sitä on helppo käyttää, sillä on suljettu runko, paljon kommunikointitapoja ja sillä on integroitu näkö. Se on nopea ja ESD määräysten mukainen. Sen kädet on integroitu ja se on turvallisuus sertifioitu. Pehmusteet lisäävät turvallisuutta törmäyksissä, mikä mahdollistaa myös, että se voi liikkua nopeammin. Sisäänrakennettu säädin säästää tilaa. Varusteita ja tavaroita voi asettaa lähemmäs YuMia ilman riskiä törmäyksistä. Säätimen ansiosta YuMista ei mene lattiakaapeleita eikä ohjauskaapeleita. Kevyt runko tekee robotista kannettavan ja liikutettavan. Ohjelmoiminen opettamalla tekee ohjelmoimisesta helppoa. Integroidulla näöllä voi helposti nostaa tavaroita, jotka eivät ole välttämättä missään järjestyksessä. Suljetun rungon ansiosta kaikki johdot ja ilma menevät läpi robotin. Tämä vähentää kunnossapitoa, koska siinä on vähemmän riskiä, että johdot tai ilmaletkut vahingoittuvat. Rungon takia sitä voidaan käyttää rajoitetussa tilassa ja se on helppo pitää puhtaana. Kaksikätisyyden ansiosta YuMi pystyy tekemään kahta asiaa samaan aikaan. Se voi saada kontaktivoiman käsien väliin. YuMille staattiset purkaukset eivät aiheuta ongelmia ja se on täydellinen sähköisiin kokoonpanoihin. Integroidussa kädessä on viisi vaihtoehtoa: integroitu kommunikointi, ilma, servo, imu ja kamera. [1]

2.2.3 Muita cobotteja

Markkinoilla on myös paljon muita coboteita. Tässä luvussa on esitetty KUKAn, FANUCin, Rethink Roboticsin, F&P:n, Techmanin sekä Kawadan cobotteja. Nämä cobotit on esitetty kuvassa 7. Lisäksi esimerkiksi Robert Boschilla, Comaulla ja Motomanilla on omat cobottinsa. Luvussa on myös esitetty vaihtoehtoinen SafetyEYE-tekniikka.

KUKAn markkinoille tuoma cobotti on LBR iiwa, jossa LBR tulee saksankielisestä sanasta Leichtbauroboter eli kevyt robotti ja iiwa sanoista intelligent industrial work assistant eli älykäs teollisuuden työapulainen. Se on yksikätkinen 7-nivelinen cobotti. LBR iiwaa on saatavilla kahta eri kokoa, 7 kg tai 14 kg hyötykuormalla, jolloin ulottuvuudet ovat 800 mm tai 820 mm. Iiwalla on nopeat reaktiot. Se pystyy huomaamaan kosketuksen heti ja vähentää voimaa sekä nopeuttaa välittömästi. Iiwan ohjelmoiminen on helppoa, koska sillä on kyky oppia. Ohjelmoija voi valita kolmesta vaihtoehdosta halutun tavan ja ohjelmoida simuloinnin kautta: merkitään haluttu paikka ja cobotti muistaa sen koordinaatit. Huipputehoisen servo-ohjauksen kanssa iiwa voi havaita ääriiivat voiman ohjauksen avulla. Se voi myös löytää pieniä komponentteja ilman apua ja sen nivelissä on momenttisensorit. LBR iiwaa käytetään yleensä tutkimuskäytössä [14]. [15]

FANUCin CR-35iA on suurin markkinoilla oleva cobotti. Se on 6-nivelinen ja sen hyötykuorma on 35 kg. Sen ulottuvuus on 1813 mm. Sen voi antaa tehdä raskaat nostot ja asemoinnit. Silloin ihminen jää vapaaksi tekemään vaativammat ja tarkkuutta tarvitsevat hommat. CR-35iA sisältää sisäänrakennetut suojaukset ja sillä on pehmeä kumi-iho, jolloin ihmisen on turvallista työskennellä samassa tilassa. Siinä on anti-trap protection, joka tarkoittaa, että sen käsien välinen kulma ei voi mennä pienemmäksi kuin 120 mm ja sormien kulma 5 mm. Sitä voi ohjata, opettaa tai työntää pois, jos se on edessä. FANUCilla on myös muita pienempiä coboteita, jotka ovat tehty niin että niillä on eri mittaiset kädet. Lyhyellä kädellä varustetun cobotin hyötykuorma on 4 kg, jonka ulottuvuus on 550 mm. Standardi kädellä varustetulla hyötykuorma on 7 kg ja ulottuvuus 717 mm. Pitkällä kädellä varustetussa hyötykuorma on myös 7 kg ja sen ulottuvuus on 911 mm. [16]

Rethink Roboticsin Baxter on kaksikätkinen cobotti. Se työskentelee turvallisesti eikä tarvitse turvahäkkejä. Baxter ohjelmoidaan opettamalla. Sillä on kaksi 7-nivelistä kättä ja sen maksimi ulottuvuus on 1210 mm. Baxterin hyötykuorma on 2,2 kg yhdelle kädelle. Sillä on kamerat molemmissa käsissä. Toinen Rethink Roboticsin cobotti on yksikätkinen Sawyer. Sillä on parempi ulottuvuus kuin Baxterilla, 1260 mm. Sawyerin hyötykuorma on 4 kg. Molemmilla on myös nivelissä voimasensorit. Molemmilla on animoitu näyttö, jossa näkyy silmät. Sen avulla ne voivat näyttää mihin ovat keskittyneet katsomalla sinne missä työskentelevät. Silmistä voi myös lukea cobotin nykyisen tilan ja se voi näyttää olevansa hämmentynyt, jos jokin on pielessä. [17]

P-Rob on F&P yrityksen valmistama 6-nivelinen cobotti. Sen toistotarkkuus on 0,1 mm ja hyötykuorma 3-5 kg. Ulottuvuus P-Robilla on 775 mm. Sen jalusta on 300 mm * 300 mm ja se painaa 20 kg. P-Robin kuori on pehmeää ja siinä on synteettistä nahka ihoa. Se suojelee ihmistä sekä robottia itseään vahingoilta. Siinä on törmäyksen tunnistus ja rajoitetut voimat. Sen saa asennettua seinään, lattiaan, pöydälle tai liikkuvalla alustalle. Se on helppo asettaa uuteen tehtävään ja sen keskimääräinen takaisinmaksuaika on 6-12 kuukautta. [18]

Techmanin TM5 on 6-nivelinen cobotti. Sen tarkkuus on 0,05 mm ja ulottuvuus 700 tai 900 mm. Hyötykuorma on pienemmässä 6 kg ja isommassa 4 kg. Cobotti itsessään painaa 22 kg tai 22,2 kg. TM5 sisältää älykkään näköjärjestelmän. Se pystyy toteami parinmuodostukseen, kappaleen paikannukseen, viivakoodin tunnistamiseen, värien erottamiseen ja muihin näköön liittyviin toimintoihin. Ohjelmoiminen tapahtuu TM Flowlla, jossa jokainen työkalu on tehty graafiseksi tabletille, tietokoneelle tai älypuhelimelle. Cobotin pystyy opettamaan kädestä pitäen. TM5 pysähtyy havaitessaan törmäyksen, joka on yli 150 N. [19]

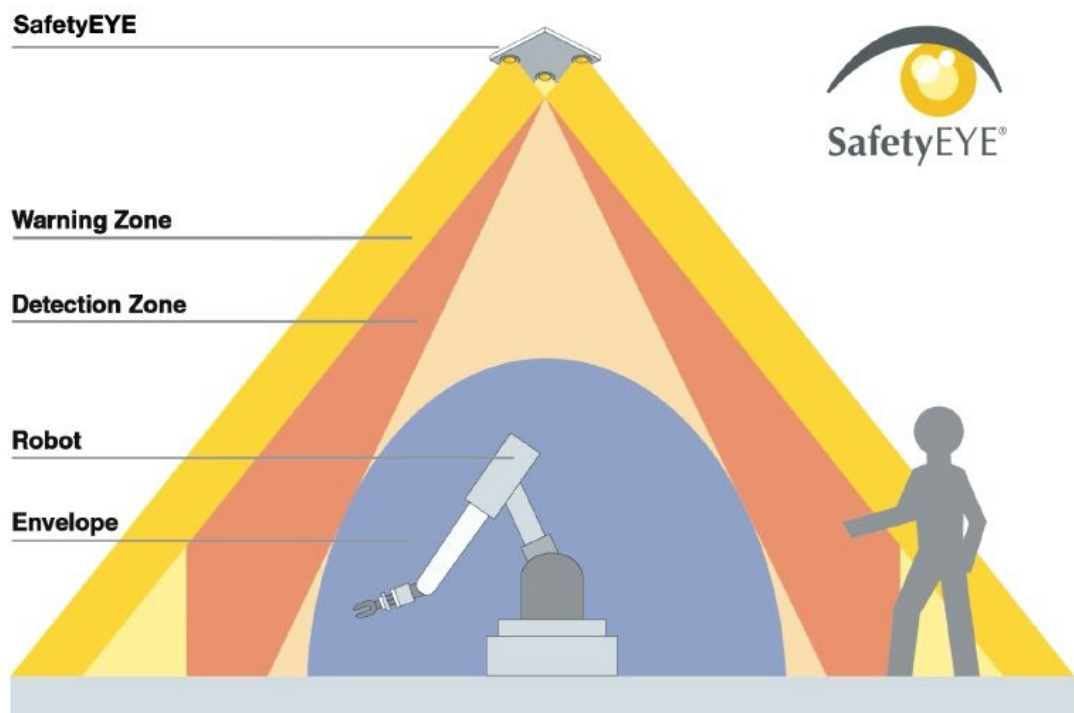
Kawada Groupin Nextage cobotti on kaksikäsinen, jolla on stereonäkö, käsikamerat ja se on turvallinen. Se on asetettu omalle tasolleen, jota on helppo liikuttaa. Stereonäön avulla Nextage pystyy tunnistamaan ympäristöään ja paikantamaan asioita. Käsikameroiden avulla se pysyy tietoisena kappaleiden paikoista tehtävien aikana. Siinä on myös edessä ja takana led-lamput, joista näkee cobotin tilan. Molemmat kädet ovat 6-nivelisiä ja lisäksi sen kaulassa on 2 niveltä ja vyötärössä 1. Sen hyötykuorma on 1,5 kg yhdelle kädelle. Nextage painaa 29 kg. [20]



Kuva 7. *F&P P-Rob, FANUC CR-35iA, Rethink Robotics Sawyer ja Baxter, KUKA LBR iiwa, Techman TM5, Kawada Nexstage [21].*

Vaihtoehtona coboteille on Pilzin SafetyEYE-turvakamerajärjestelmä. SafetyEYE on turvakamerajärjestelmä kolmiulotteiseen tilanvalvontaan. Se pystyy vaara-alueiden aukotomaan, kolmiulotteiseen valvontaan ja ohjaamiseen. SafetyEYE pystyy havaitsemaan ja ilmoittamaan, jos esimerkiksi ihminen astuu vapaasti määritettäville varoitus- ja suoja-

alueille. Varoitus- ja suoja-alueet on esitetty kuvassa 8. SafetyEYE koostuu anturiyksiköstä ja ohjausyksiköstä. Anturiyksikkö havaitsee liikkeitä. Se koostuu kolmesta kamerasta. Anturiyksikkö asetetaan valvottavan alueen yläpuolelle ja se on hetkessä käyttövalmis. Ohjausyksikkö koostuu analysointiyksiköstä ja turvaohjauksesta. Analysointiyksikkö ottaa kuvasignaalin vastaan ja käsittelee sen. Samalla se lähettää signaalit integroidulle turvaohjaukselle. Turvaohjaus voi esimerkiksi sammuttaa koneen tai robotin saatuaan signaalin. SafetyEYEn etuja on, että sillä on monimutkaisten sovellusten luotettava 3D-valvonta. Se täyttää korkeimmat turvallisuusvaatimukset manipulatio suojauksella. Se on joustava sovelluksia kehittäessä ja muuttaessa. SafetyEYE myös parantaa ergonomisuutta ja tehostaa työkulkua, sillä sen suoja-alueet mahdollistavat esteettömän ja turvallisen pääsyn koneen luo. SafetyEYE on myös nopea asentaa ja helppo ottaa käyttöön. Turvakamerajärjestelmä tunnistaa käden jopa 4 m korkeudelta. Valvottavan alueen maksimi on 72 m². Toimiakseen SafetyEYE-järjestelmä vaatii vähintään 300 lx. Benteler Automobiltechnik –yhtiö otti SafetyEYE-turvakamerajärjestelmän parantamaan robottihit-sausaseman ergonomiaa. Siinä käyttäjät ja koneet voivat työskennellä turvallisesti yhdessä järjestelmän ansiosta. [22]



Kuva 8. SafetyEYE-turvakamerajärjestelmä [23].

3. VERTAILU

Cobotteja on monenlaisia: yksi- ja kaksikäisiä sekä erikokoisia ja niillä on eri hyötykuormia. Coboteilla on yleensä 6 tai 7 niveltä. Suurin osa coboteista on yksikäisiä, mutta kaksikäisiä on ABB:n YuMi, Rethink Roboticsin Baxter ja Kawadan Nexstage. 6-nivelisiä cobotteja on kaikki UR-cobotit, FANUCin CR-35iA, Techmanin TM5 ja F&P:n P-Rob ja 7-nivelisiä on YuMi, LBR iiwa, Sawyer ja Baxter.

Turvallisuusratkaisut coboteissa ovat hyvin samanlaisia toistensa kanssa. Monessa on voimasensorit tai anturit, jotka havaitsevat törmäyksen. Ne on usein asetettu 150 N. Universal Robotsin UR3 pystyy myös asettamaan tunnistuksen jo 50 N. Havaitessaan törmäyksen cobotit pysähtyvät tai vähentävät nopeutta ja voimaa. YuMilla, CR-35iA:lla ja P-Robilla on pehmustetut kädet tai runko. YuMin turvallisuuteen vaikuttaa törmäyksen tunnistuksen ja pehmustettujen käsien lisäksi, että se on kevyt ja se diagnosoi nopeasti ympäristöään. CR-35iA:ssa on anti-trap protection, joka estää ihmistä jäämästä minkään väliin. Baxterin ja Sawyerin turvallisuutta parantaa se, että ne liikkuvat ihmisten nopeuksilla eli niitä on helppo väistää. Ne myös näyttävät silmillään mihin liike on menossa seuraavaksi eli niitä on myös helppo ennakoida.

Taulukko 1. Cobottien vertailua.

Nimi	Ulottuvuus (mm)	Tarkkuus (mm)	Kuorma (kg)	Paino (kg)	Mitat (mm)	Nopeus (°/s)
UR3	500	0,1	3	11	Ø128	180° & 360°
UR5	850	0,1	5	18,4	Ø149	180°
UR10	1300	0,1	10	28,9	Ø190	180°
YuMi	559	0,02	0,5	38	399*496*1018	180° & 400°
LBR iiwa	800	0,1	7	23,9	Ø136*1266	85°-180°
	820	0,15	14	29,9	Ø136*1306	
CR-35iA	1813	0,04	35	990	650*650*2843	500 mm/s
Sawyer	1260	0,1	4			1,5 m/s
Baxter	1210	0,1	2,2	75 tai 140	Ø340 / 914 * 813	1,5 m/s
TM5	700	0,05	6	22		180° & 225°
	900		4	22,2		
P-Rob	775	0,1	3-5	20	290*250*1138	50°-100° (24V), 100°-160° (48V)

Cobottien teknisiä tietoja on koottuna taulukossa 1. Se on koottu cobottivalmistajien verkkosivuilta. Taulukosta näkee, että pieniin kokoonpanoihin sopii ulottuvuuden puolesta parhaiten UR3 ja YuMi ja suuriin UR10, CR-35iA sekä Sawyer ja Baxter. Tarkin toistotarkkuus on YuMilla. YuMi voi käsitellä vain pieniä osia, koska sen hyötykuorma on vain 0,5 kiloa yhdelle kädelle. Suurin hyötykuorma on FANUCin CR-35iA:lla. Kevyin cobotti on UR3 ja painavin CR-35iA.

Robotic Magazinessa vuonna 2016 olleessa artikkelissa: ”What are the best collaborative robots” vertaillaan parhaita markkinoilla olevia cobotteja. Nämä cobotit ovat Baxter, Sawyer, kaikki UR cobotit, LBR iiwa, YuMi ja CR-35iA. Baxterista tekstissä sanotaan, että se sai paljon huomiota julkaisun jälkeen sen uniikkien ominaisuuksien vuoksi. Sen kamerat ja led-näyttö naamana olivat hyvin erilaisia verrattuna muihin coboteihin. Baxter tarjoaa monia eri toimintoja, mutta sen tarkkuus ja toistettavuus eivät olleet parhaimmasta päästä. Cobotti on tärkeä ja kömpelö. Baxter on kuitenkin erittäin turvallinen. Se liikkuu hitaasti ja sillä on pehmeä kuori. Sawyer on tehty tarkemmaksi ja se ei tärisä niin paljon kuin Baxter. UR10 on hyvä raskaissa ihmiselle sopivissa töissä. UR5 sopii hyvin koneenhoito sovelluksiin, kokoonpanotehtäviin ja kappaleiden jakamiseen. UR3 on hyvä kevyissä sovelluksissa, esimerkiksi elektroniikassa. Sillä on myös ääretön ranteen eli päätynivelen pyöriminen. LBR iiwa on kallis ja sen ajatellaan olevan paras markkinoilla oleva cobotti artikkelin mukaan. Sitä käytetään usein tutkimussovelluksissa. YuMin suunnittelemiseen ja markkinoille tuontiin meni paljon aikaa. Se on tarkka ja sen toistettavuus on hyvä. YuMi on erittäin hyvä elektroniikkasovelluksissa. CR-35iA jaksaa kannatella ja liikutella 35 kg. Sillä on siis suurin hyötykuorma ja sen takia myös isoin ulottuvuus. Se on periaatteessa tavallinen teollisuusrobotti, jolla on pehmustettu iho ja voimamomentti sensoreita. Taulukossa 2 on koottuna artikkelissa olleet hinta, turvallisuus ja hyötykuorma arvot. [14] Taulukossa olevat hintapisteytykset eroavat cobotsguide-sivulla esitettävistä hinta-arvioista. Cobotsguide antaa Baxterin hinta-arvioksi 25000 \$, Sawyerille 34900 \$, UR3 35000 \$, YuMi 40000 \$, UR5 45500 \$, UR10 56500 \$ ja LBR iiwalle 50000-100000 \$ [21].

Taulukko 2. Cobottien vertailua [14].

	Baxter	Sawyer	UR10	UR5	UR3	LBR iiwa	YuMi	CR-35iA
Hinta	€€€	€€€	€€€	€€	€€	€€€€€	€€€€€	€€€€€
Turvallisuus	+++++	+++++	+++	++++	+++++	+++++	+++++	++
Kuorma	+++	++++	+++++	++++	++	+++	+	+++++

Myös cobottien kiinnitysmahdollisuuksissa on eroja. Pienimmät cobotit pystyy pystyttää melkein mihin vain ja isoimmat vain lattialle. Joillain coboteilla on myös omia tasoja, joihin ne asennetaan. FANUCin CR35-iA on mahdollista asentaa vain lattialle. Vain pöy-

dälle asetettavia ovat ABB:n YuMi ja Universal Robotsin cobotit. Eniten kiinnitysmahdollisuuksia on KUKAn LBR iiwalla ja F&Pn P-Robilla. LBR iiwan voi asentaa lattiaan, pöytään, kattoon tai seiniin. P-Robin voi asentaa lattiaan, pöydälle, seiniin, kattoon tai liikkuvaan tasoon. Rethink Roboticsin Baxterin ja Sawyerin voi asentaa pöydälle tai omalle liikkuvalla jalustalle. Kawadan Nextage on mahdollista asentaa vain omalla liikkuvalla tasolleen. [21]

4. YHTEENVETO

Tässä kandidaatintyössä kerrottiin aluksi mitä etuja ihmisten ja robottien välinen yhteistyö tuo, jonka jälkeen kerrottiin yleisesti mitä yhteistyörobotit eli cobotit ovat. Sen jälkeen käsiteltiin cobottien historiaa. Historian jälkeen tarkasteltiin Universal Robotsin sekä ABB:n cobotteja ja niiden jälkeen vielä lyhyesti muita markkinoilla olevia cobotteja. Lisäksi työssä on myös esitetty coboteille vaihtoehtoinen SafetyEYE-tekniikka. Lopuksi työssä on vertailtu eri cobottien teknisiä tietoja ja turvallisuusratkaisuja sekä muita eroavaisuuksia.

Ihmisten ja robottien välisen yhteistyön takia ihminen pystyy keskittymään enemmän ajattelua vaativiin töihin. Yhteistyön ansiosta tuotantoon saadaan joustavuutta ja tehokkuutta sekä työn laatu paranee. Robotit, joita tässä yhteistyössä käytetään, ovat cobotteja. Cobotit ovat siis robotteja, jotka toimivat turvallisesti yhteistyössä ihmisen kanssa ilman turvahäkkejä. Cobottien avulla saadaan automatisoitua sellaisia asioita, joita ei ennen ollut järkeä tai mahdollista automatisoida. Niiden avulla saadaan tehtyä tylsät ja raskaat työt, kuten sarjatuotantotyö tai nostotyöt. Ala kasvaa nopeasti ja jo nyt on monia eri cobottivalmistajia.

On vaikea katsoa, mistä cobottien historia on alkanut, mutta sen voidaan katsoa alkaneen 1990-luvulla, jolloin Northwesternin yliopisto ja General Motors Corporation aloittivat projektin, jonka tuloksena syntyivät ensimmäiset cobotit. Ensimmäinen cobotti suunniteltiin kannattelemaan auton ovea kokoonpanolinjalla, jotta ihmisen oli helpompi liikutella sitä. Nykyajan cobotit ovat hyvin erilaisia verrattuna ensimmäisiin coboteihin.

Ensimmäinen nykyajan cobotti tuli markkinoille vuonna 2008. Näitä cobotteja pidettiin aluksi outoina, koska ne työskentelivät ilman häkkejä ja heiluttelivat robottikäsiään ihmisten edessä. Cobottien ohjelmoiminen on nopeaa ja helppoa ja se on usein kädestä pitäten opettamista. Tämä lisää tuotannon joustavuutta, sillä cobotin voi nopeasti opettaa uuteen tehtävään, jolloin voidaan tehdä pienellä volyymilla töitä ja vaihtaa työtä usein. Cobotit ovat 6- tai 7-nivelisiä ja ne ovat yksi- tai kaksikätsisiä. Niillä on voimasensorit, anturit tai kamerat, joilla ne tunnistavat törmäyksen. Törmäyksen sattuessa ne hidastavat vauhtiaan tai pysähtyvät kokonaan. Osalla on pehmustetut kädet tai runko, mitkä lisäävät turvallisuutta. Cobottien tavallinen toistotarkkuus on 0,1 mm, mutta osalla coboteista se on myös parempi. Ulottuvuudet ovat suurimmalla osalla noin 800 mm, mutta suurempia-kin on. Hyötykuormat ovat 10 kg molemmin puolin, paitsi FANUCin cobotilla jopa 35 kg.

Coboteille vaihtoehtona on käyttää SafetyEYE-turvakamerajärjestelmää, jolloin voidaan käyttää perinteisiä robotteja kuten cobotteja. Turvakamerajärjestelmä valvoo ja ohjaa vaara-alueen toimintaa. Sillä on vaara-alue, johon astuessa voidaan esimerkiksi robottia

hidastaa ja jos astuu vielä lähemmäs, se voidaan asettaa kokonaan pysähtymään. Kun astuu alueilta pois, robotti jatkaa työskentelyään normaalisti.

Cobottien ala on nopeimmin kasvavia teollisuuden aloja. On ajateltu, että jos se jatkaa kasvamistaan, niin tulevaisuudessa tehtaissa ei ole mitään erottelua automatisoitujen ja manuaalisten työasemien välillä. Eli silloin tehtaissa ei enää olisi mitään turvahäkkejä ja valoverhoja. On ennustettu, että vuoteen 2020 mennessä ala on saavuttanut 3 miljardin dollarin liikevaihdon ja että vuonna 2025 noin 25 % kaikista automatisoitavista työtehtävistä on toteutettu robotiikan avulla. Tämä tarkoittaa 16 % laskua työvoimakustannuksissa.

LÄHTEET

- [1] YuMi – Creating an automated future together, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 24.9.2017): <http://new.abb.com/products/robotics/fi/teollisuusrobotit/yumi>
- [2] Human-robot collaboration (HRC), verkkosivu. Saatavissa (viitattu 24.9.2017): <https://www.kuka.com/en-us/technologies/human-robot-collaboration>
- [3] About Universal Robots – how we sold the first cobot. Saatavissa (viitattu 5.10.2017): <https://www.universal-robots.com/about-universal-robots/news-centre/history-of-the-cobots/>
- [4] R. Bloss, Collaborative robots are rapidly providing major improvements in productivity, safety, programing ease, portability and cost while addressing many new applications, The Industrial Robot, Vol. 43, Iss. 5, 2016, pp. 463–468.
- [5] R. Bogue, Europe continues to lead the way in the collaborative robot business, Industrial Robot, Vol. 43, Iss. 1, 2016, pp. 6–11.
- [6] D. Greenfield, Inside the Human-Robot Collaboration Trend, Nov 2016, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 24.9.2017): <https://www.automationworld.com/inside-human-robot-collaboration-trend>
- [7] A new intelligent device - the cobot, Industrial Robot, Vol. 25, Iss. 3, 1998
- [8] K. Pittman, A History of Collaborative Robots: From Intelligent Lift Assist to Cobots, Oct 2016. Saatavissa (viitattu 23.10.2017): <https://www.engineering.com/AdvancedManufacturing/ArticleID/13540/A-History-of-Collaborative-Robots-From-Intelligent-Lift-Assists-to-Cobots.aspx>
- [9] M. Peshkin, J. Edward Colgate, Cobots, Industrial Robot, Vol. 26, Iss. 5, 1999, pp. 335-341.
- [10] T. Hessman, Robots, Cobots & the American Dream, Nov 2015. Saatavissa (viitattu 25.10.2017): <http://www.newequipment.com/technology-innovations/robots-cobots-american-dream>
- [11] K. Pittman, INFOGRAPHIC: A Brief History of Collaborative Robots, May 2016. Saatavissa (viitattu 5.10.2017): <https://www.engineering.com/AdvancedManufacturing/ArticleID/12169/INFOGRAPHIC-A-Brief-History-of-Collaborative-Robots.aspx>
- [12] Universal Robots, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 10.10.2017): <https://www.universal-robots.com/>

- [13] ABB's YuMi collaborative robot named "2016 Best Industrial Robot". Saatavissa (viitattu 14.10.2017): <http://www.abb.com/cawp/seitp202/c9aa2ac92a152904c125801200537df0.aspx>
- [14] What are the best collaborative robots?, Mar 2016, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 24.10.2017): <http://www.roboticmagazine.com/domestic-industrial/best-collaborative-robots?iframe=true>
- [15] LBR iiwa, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 14.10.2017): <https://www.kuka.com/en-de/products/robot-systems/industrial-robots/lbr-iiwa>
- [16] Collaborative robot CR-35iA, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 14.10.2017): <http://www.fanuc.eu/de/en/robots/robot-filter-page/collaborative-robots/collaborative-cr35ia>
- [17] Rethink Robotics, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 15.10.2017): <http://www.rethinkrobotics.com/>
- [18] F & P – Personal Robotics, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 17.10.2017): <http://www.fp-robotics.com/en/technology/>
- [19] Techman TM5, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 25.10.2017): <http://tm-robot.com/>
- [20] Kawada Nextage, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 25.10.2017): <http://nextage.kawada.jp/en/http://nextage.kawada.jp/en>
- [21] Meet the cobots, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 24.10.2017): <http://cobots-guide.com/cobots/>
- [22] SafetyEYE-turvakamerajärjestelmä, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 1.11.2017): <https://www.pilz.com/fi-FI/eshop/00106002207042/SafetyEYE-Safe-camera-system>
- [23] SafetyEYE kuva. Saatavissa (viitattu 1.11.2017): https://www.automation-world.com/sites/default/files/images/awissues/11_07/images/Departments/safety_eye_layer.jpg